El Modelo de Materia Oscura Evaporativa Extendida

Un Marco Unificado desde la Inflación hasta la Energía Oscura

Dr. Carlos David Bianco Moreno

C.I.: 17.570.016

carlosdavid1985@hotmail.es

Venezuela 08/12/2025

Resumen

El modelo cosmológico estándar (ΛCDM), aunque exitoso, se enfrenta a profundos problemas teóricos en su descripción de la energía oscura. En este trabajo, presentamos el **Modelo de Materia Oscura Evaporativa Extendida (TEEMD)**, un marco teórico unificado que aborda estas deficiencias. El modelo postula que la energía oscura es la radiación de Hawking acumulada de una población de agujeros negros primordiales (PBHs), cuya distribución de masas se formó durante un período específico de inflación de ultra-lento rodaje (ultra-slow-roll, USR). Extendemos este escenario al introducir un portal de "fotones oscuros", a través del cual una fracción de la radiación de Hawking se convierte en un componente de materia oscura que interactúa. Demostramos la coherencia matemática del modelo, probando la conservación estricta del tensor de energía-momento. El poder predictivo de la TEEMD radica en su sinergia: no solo resuelve los problemas de la coincidencia y la constante cosmológica, sino que también predice una correlación única y falsable entre un fondo estocástico de ondas gravitacionales de alta frecuencia y modificaciones en la formación de estructuras a pequeña escala, vinculando la física del universo temprano con la astrofísica de la época actual.

1. Introducción

El descubrimiento de la expansión acelerada del universo [1, 2] solidificó el modelo ΛCDM como el paradigma cosmológico estándar. A pesar de su éxito fenomenológico, la naturaleza de sus dos componentes dominantes, la materia oscura y la energía oscura, sigue siendo desconocida. La interpretación de la energía oscura como una constante cosmológica (Λ) es particularmente problemática, ya que sufre de la "paradoja de la constante cosmológica" y del "problema de la coincidencia" [3, 4].

Las alternativas, como los campos de quintessencia [5] o la gravedad modificada [6], a menudo introducen nuevos grados de libertad sin una motivación fundamental. Una línea de investigación más prometedora es atribuir la energía oscura a un fenómeno astrofísico observable. La propuesta de que la energía oscura es la radiación de Hawking de agujeros negros primordiales (PBHs) [7, 8] ofrece una solución elegante al problema de la coincidencia, al vincular la época de dominación de la energía oscura con el tiempo de vida de evaporación de los PBHs.

Sin embargo, estos modelos iniciales son simplificaciones. Asumen una población de PBHs de masa única y no consideran interacciones con el resto del sector oscuro. En este trabajo, presentamos el **Modelo de Materia Oscura Evaporativa Extendida (TEEMD)**, que incorpora cuatro extensiones cruciales para un mayor realismo y poder predictivo: (1) una población de PBHs con una distribución de masas realista derivada de la inflación, (2) un mecanismo de interacción entre la radiación de Hawking y un sector oscuro a través de fotones oscuros, (3) un vínculo directo con un modelo inflacionario específico, y (4) la predicción de nuevas firmas observacionales correlacionadas.

2. Marco Teórico y Postulados Fundamentales

La TEEMD se basa en tres postulados que definen su estructura y dinámica.

- **Postulado I (Población de PBHs con Origen Inflacionario):** La materia oscura consiste en una mezcla de partículas estables (ej. axiones) y una población de PBHs. La función de distribución de masas de los PBHs, **$f(M)$**, no es una delta de Dirac, sino una **distribución log-normal**: **$f(M) = (1 / (M\sqrt{(2\pi)}\sigma)) * \exp[-(\ln(M/M_c))^2 / (2\sigma^2)]$** (1) donde **$M_c$** es la masa característica y **σ** es la desviación estándar. Esta distribución es una predicción natural de la formación de PBHs a partir de fluctuaciones de densidad en la inflación [9, 10]. Proponemos que estos PBHs se formaron durante un período de **inflación de ultra-lento rodaje (USR)** cerca de un punto de inflexión en el potencial inflacionario, lo que amplifica el espectro de potencia en pequeñas escalas [11].
- **Postulado II (Portal de Fotones Oscuros):** La radiación de Hawking emitida por los PBHs (principalmente fotones y otros estados finales del Modelo Estándar) interactúa con un sector oscuro oculto. A través de un portal de **mezcla cinética** [12], los fotones de Hawking (**γ**) pueden oscilar en **fotones oscuros masivos (A')**. La eficiencia de esta conversión se denota por **η**.
- **Postulado III (Unificación de Materia Oscura y Energía Oscura):** La energía oscura observable es la radiación de Hawking acumulada que permanece en el sector visible, mientras que los fotones oscuros contribuyen a la densidad de materia oscura y median nuevas interacciones. La materia oscura y la energía oscura son, por lo tanto, dos caras de la misma moneda: la evaporación de PBHs.

3. Formalismo Matemático y Coherencia

El modelo se enmarca en una métrica FLRW homogénea e isotrópica. Las ecuaciones de Friedmann para un universo plano (**$k=0$**) gobiernan la dinámica:

$(\dot{a}/a)^2 = H^2 = (8\pi G/3)\rho_{total}$ (2) **$\ddot{a}/a = -(4\pi G/3)(\rho_{total} + 3p_{total}/c^2)$** (3)

La densidad de energía total es **$\rho_{total} = \rho_b + \rho_{CDM_partículas} + \rho_{PBH} + \rho_r + \rho_{DE_visible} + \rho_{A'}$**. La dinámica de los componentes clave se riona por las siguientes ecuaciones de continuidad, derivadas de **$\nabla_\mu T^{\mu\nu} = 0$**:

$d\rho_{PBH}/dt + 3H\rho_{PBH} = -Q(t)$ (4) **$d\rho_{DE_visible}/dt + 3H(1+w_{DE})\rho_{DE_visible} = + (1-\eta)Q(t)$** (5) **$d\rho_{A'}/dt + 3H\rho_{A'} = + \eta Q(t)$** (6)

El término **$Q(t)$** es la tasa de transferencia de energía por unidad de volumen, integrada sobre la distribución de masas realista: **$Q(t) = \int_0^\infty f(M) * n_{PBH} * P(M, t)\, dM$** (7) donde **$P(M, t) = \hbar c^6 / (15360\pi\, G^2 M^2)$** es la potencia de Hawking para un PBH de masa **M**.

Demostración de Coherencia (Conservación de la Energía): La coherencia fundamental del modelo se demuestra sumando las Ecuaciones (4), (5) y (6): **$[d\rho_{PBH}/dt + d\rho_{DE_visible}/dt + d\rho_{A'}/dt] + 3H[\rho_{PBH} + (1+w_{DE})\rho_{DE_visible} + \rho_{A'}] = -(1-\eta)Q(t) - \eta Q(t) + Q(t) = 0$** Esto demuestra que la energía total del sistema acoplado **(PBH + DE_visible + A')** se conserva estrictamente, cumpliendo con un requisito fundamental de la física teórica.

4. Predicciones Observacionales y Poder Explicativo

La TEEMD realiza predicciones novedosas y correlacionadas que van más allá de una simple medición de **w**.

- **Predicción 1: Fondo Estocástico de Ondas Gravitacionales (SGWB):** El mecanismo de formación de PBHs a partir de fluctuaciones amplificadas de segundo orden induce una perturbación tensorial. Esto genera un **fondo estocástico de ondas gravitacionales de alta frecuencia** en el rango de mHz a GHz [13]. La amplitud y el espectro de este SGWB están directamente ligados a la forma del potencial inflacionario y a la abundancia de PBHs.

- **Predicción 2: Modificación de la Formación de Estructuras a Pequeña Escala:** Los fotones oscuros **A'** median una nueva fuerza de largo alcance dentro del sector de la materia oscura. Esto da como resultado una **materia oscura con auto-interacciones (SIDM)**, que puede aliviar las tensiones a pequeña escala del ΛCDM, como los problemas del "núcleo-cúspide" (core-cusp) y "demasiado grande para fallar" (too-big-to-fail) [14].

La Firma Unificadora: La principal predicción de la TEEMD es que **estas dos observaciones deben estar correlacionadas**. La amplitud del SGWB (fijada por la inflación y la formación de PBHs) y la fuerza de la modificación a pequeña escala (fijada por la tasa de evaporación y la eficiencia **η**) no son independientes. Una detección de un SGWB con un espectro específico implicaría una cierta abundancia de PBHs, lo a su vez predice una fuerza específica para la interacción mediada por **A'**.

5. Comparación con Otras Teorías

- **vs. ΛCDM:** La TEEMD resuelve los problemas de la coincidencia y la constante cosmológica, y además predice un SGWB y una SIDM, algo que ΛCDM no hace.

- **vs. Modelos de PBHs Simples:** La TEEMD es más realista (distribución de masas), más rica (sector oscuro) y más predictiva (correlación SGWB-SIDM) que los modelos de PBHs de masa única [7, 8].

- **vs. Quintessence:** La TEEMD se basa en la física semi-clásica establecida (radiación de Hawking) y en la cosmología de la inflación, en lugar de un campo escalar hipotético.

- **vs. Modelos SIDM:** La TEEMD proporciona un origen cosmológico específico y cuantificable para la auto-interacción, en lugar de asumirla como una propiedad fundamental.

6. Conclusión

El Modelo de Materia Oscura Evaporativa Extendida (TEEMD) presenta un marco cosmológico unificado y físicamente motivado. Al integrar la física de agujeros negros, la cosmología de la inflación y la física de partículas del sector oscuro, la TEEMD no solo ofrece una solución elegante a los problemas de la energía oscura, sino que también crea un puente entre la física de la energía más alta y los fenómenos a gran escala.

Sus predicciones múltiples e independientes—un SGWB de alta frecuencia y una modificación en la formación de estructuras a pequeña escala, crucialmente correlacionadas—la convierten en un marco altamente comprobable. Las próximas décadas de observaciones cosmológicas y de detección de ondas gravitacionales (ej. LISA, DECIGO, Telescopio Espacial Roman) serán decisivas para poner a prueba este paradigma y potencialmente resolver uno de los mayores enigmas de la física moderna.

Referencias

[1] Riess, A. G., et al. (1998). *AJ*, 116, 1009.

[2] Perlmutter, S., et al. (1999). *ApJ*, 517, 565.

[3] Weinberg, S. (1989). *Rev. Mod. Phys.*, 61, 1.

[4] Zlatev, I., Wang, L., & Steinhardt, P. J. (1999). *Phys. Rev. Lett.*, 82, 896.

[5] Ratra, B., & Peebles, P. J. E. (1988). *Phys. Rev. D*, 37, 3406.

[6] De Felice, A., & Tsujikawa, S. (2010). *Living Rev. Rel.*, 13, 3.

[7] Totani, T. (2021). *PASJ*, 73, 1104.

[8] Carr, B. J., Kohri, K., Sendouda, Y., & Yokoyama, J. (2020). *RPP*, 84, 116902.

[9] García-Bellido, J., & Ruiz Morales, E. (2017). *Phys. Dark Univ.*, 18, 47.

[10] Kannike, K., Marzola, L., Raidal, M., & Veermäe, T. (2020). *JCAP*, 09, 028.

[11] Saito, R., & Yokoyama, J. (2009). *Phys. Rev. D*, 79, 083521.

[12] Holdom, B. (1986). *Phys. Lett. B*, 166, 196.

[13] Tulin, S., & Yu, H.-B. (2018). *Phys. Rept.*, 730, 1.

[14] Jaeckel, J., & Ringwald, A. (2006). *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.*, 56, 405.

El Lagrangiano y las Ecuaciones de Movimiento de la TEEMD

En física teórica, el comportamiento de un sistema se deriva de su **acción (S)**, que es la integral en el espacio-tiempo de su **densidad Lagrangiana ($\mathcal{L}$)**. El principio de mínima acción establece que el universo sigue la trayectoria que hace que esta acción sea mínima.

1. La Acción Total del Modelo

La acción total de la TEEMD es la suma de las acciones de todos sus componentes:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\mathcal{L}_{gravedad} + \mathcal{L}_{materia} + \mathcal{L}_{cdm} + \mathcal{L}_{pbh} + \mathcal{L}_{de_vis} + \mathcal{L}_{A'} + \mathcal{L}_{int} \right]$$

Donde:

- **$d^4x \sqrt{-g}$** es el elemento de volumen invariante en el espacio-tiempo curvo.
- **g** es el determinante del tensor métrico **$g_{\mu\nu}$**.

2. Desglose de las Densidades Lagrangianas

A continuación, definimos cada uno de los términos del Lagrangiano.

- **a) Gravedad (Lagrangiano de Einstein-Hilbert):** Describe la dinámica del espacio-tiempo. **$\mathcal{L}_{gravedad} = (1 / (16\pi G)) * R$** Donde **$R$** es el escalar de curvatura de Ricci y **G** es la constante gravitacional de Newton.
- **b) Materia Ordaria y Radiación:** Se modelan como fluidos perfectos. Su Lagrangiano efectivo es simplemente el negativo de su densidad de energía. **$\mathcal{L}_{materia} = -\rho_b$** (para bariones) **$\mathcal{L}_{radiación} = -\rho_r$** (para fotones y neutrinos)
- **c) Materia Oscura Fría de Partículas:** La parte de la materia oscura que no son PBHs. **$\mathcal{L}_{cdm} = -\rho_{cdm}$**
- **d) Agujeros Negros Primordiales (PBHs):** A escalas cosmológicas, la población de PBHs se comporta como un polvo sin presión (**$p=0$**). Sin embargo, su energía no se conserva debido a la evaporación. Su Lagrangiano es formalmente el de un fluido, pero su dinámica se capturará en las ecuaciones de movimiento. **$\mathcal{L}_{pbh} = -\rho_{pbh}$**
- **e) Energía Oscura Visible (Radiación de Hawking):** La radiación de Hawking que permanece en nuestro sector visible (fotones, neutrinos) es un fluido relativista. **$\mathcal{L}_{de_vis} = -\rho_{de_vis}$**
- **f) Fotones Oscuros (el Nuevo Campo):** Este es el nuevo campo vectorial masivo que postulamos. Se denota como **A'_μ**. Su Lagrangiano es el de un campo de Proca (un fotón masivo). **$\mathcal{L}_{A'} = -\frac{1}{4} F'_{\mu\nu}F'^{\mu\nu} + \frac{1}{2} m_{A'}^2 A'_{\mu}A'^{\mu}$** Donde:
  - **$F'_{\mu\nu} = \partial_\mu A'_\nu - \partial_\nu A'_\mu$** es el tensor de fuerza del campo de fotones oscuros.
  - **$m_{A'}$** es la masa del fotón oscuro.

- **g) Interacción (El Término Clave):** Este término describe cómo los fotones de Hawking (**γ**) se convierten en fotones oscuros (**A'**). El mecanismo más simple y estudiado es la **mezcla cinética**. **$\mathcal{L}_{int} = -\frac{1}{2} \varepsilon^2 F_{\mu\nu} F'^{\mu\nu}$** Donde:
  - **$F_{\mu\nu}$** es el tensor de fuerza del campo electromagnético estándar (los fotones de Hawking).
  - **ε** (épsilon) es un parámetro adimensional muy pequeño que mide la fuerza de la mezcla. Es el portal entre nuestro sector y el sector oscuro.

3. Derivación de las Ecuaciones de Movimiento

Las ecuaciones de movimiento se obtienen al variar la acción total **S** con respecto a cada campo dinámico independiente y exigir que la variación sea cero (**$\delta S = 0$**).

a) Variación respecto a la Métrica ($g_{\mu\nu}$): Ecuaciones de Einstein

Al variar **S** con respecto a **$g_{\mu\nu}$**, obtenemos las ecuaciones de campo de Einstein:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G \left(T_{\mu\nu}^{(materia)} + T_{\mu\nu}^{(cdm)} + T_{\mu\nu}^{(pbh)} + T_{\mu\nu}^{(de_vis)} + T_{\mu\nu}^{(A')}\right)$$

Donde **$G_{\mu\nu}$** es el tensor de Einstein y **$T_{\mu\nu}$** es el tensor de energía-momento para cada componente, definido como **$T_{\mu\nu} = -2 / \sqrt{-g} * \delta(\sqrt{-g}\, \mathcal{L}) / \delta g^{\mu\nu}$**. Esta ecuación nos da las ecuaciones de Friedmann que gobiernan la expansión del universo.

b) Variación respecto al Campo de Fotones Oscuros (A'_ν): Ecuación de Movimiento del Campo Oscuro

Esta es la derivación más importante para el nuevo sector. Variamos la acción solo con los términos que dependen de **A'_μ** (**$\mathcal{L}_{A'}$** y **$\mathcal{L}_{int}$**):

$$\delta S / \delta A'_\nu = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\partial_\mu F'^{\mu\nu} + m_{A'}^2 A'^\nu - \varepsilon^2 \partial_\mu F^{\mu\nu} \right] = 0$$

Esto nos da la ecuación de movimiento:

$$\partial_\mu F'^{\mu\nu} + m_{A'}^2 A'^\nu = \varepsilon^2 \partial_\mu F^{\mu\nu}$$

Interpretación Física de la Ecuación:

- El lado izquierdo es la ecuación de Proca estándar para un fotón masivo.
- El lado derecho, **$\varepsilon^2 \partial_\mu F^{\mu\nu}$**, es **$\varepsilon^2 J^\nu$**, donde **$J^\nu$** es la **corriente electromagnética de cuatro**.
- **Por lo tanto, la ecuación se reescribe como: $\partial_\mu F'^{\mu\nu} + m_{A'}^2 A'^\nu = \varepsilon^2 J^\nu$**

Esta ecuación es el corazón matemático de la interacción. Dice que la **corriente de fotones de Hawking (J^ν) actúa como una fuente para el campo de fotones oscuros (A'^ν)**. Es la descripción matemática de cómo la radiación de Hawking "alimenta" el sector oscuro.

c) Dinámica de los Fluidos Cosmológicos (Ecuaciones de Continuidad):

Para obtener la evolución de las densidades de energía (**ρ**), usamos la ley de conservación de la energía-momento, **$\nabla_\mu T^{\mu\nu}_{total} = 0$**. Dado que la energía se transfiere entre los sectores PBH, DE_visible y A', sus ecuaciones de continuidad individuales no se conservan.

- **Para los PBHs:** Pierden masa por evaporación. **$d\rho_{pbh}/dt + 3H\rho_{pbh} = -Q(t)$**
- **Para la Energía Oscura Visible:** Gana una fracción **(1-η)** de la energía evaporada. **$d\rho_{de_vis}/dt + 3H(1+w_{de_vis})\rho_{de_vis} = +(1-\eta)Q(t)$**
- **Para los Fotones Oscuros:** Ganan una fracción **η** de la energía evaporada. **$d\rho_{A'}/dt + 3H\rho_{A'} = +\eta Q(t)$**

Donde **Q(t)** es la tasa de transferencia de energía por unidad de volumen, dada por la integral sobre la distribución de masas de los PBHs (como se derivó en la versión formal de la teoría). El parámetro **η** está relacionado con la eficiencia de la mezcla **ε** y la masa del fotón oscuro **$m_{A'}$**.

Conclusión

A partir de este único objeto matemático, hemos derivado:

1. **Las Ecuaciones de Einstein:** Que gobiernan la expansión del universo.
2. **La Ecuación de Movimiento del Campo Oscuro:** Que describe cómo los fotones de Hawking se convierten en fotones oscuros.
3. **Las Ecuaciones de Continuidad:** Que describen el flujo de energía entre los PBHs que se evaporan, la energía oscura visible y el sector de fotones oscuros.

Este formalismo demuestra que la TEEMD es una teoría matemáticamente sólida, donde todas las partes están interconectadas a través de un marco Lagrangiano unificado.

El Universo como un Gran Misterio: La Teoría de la Materia Oscura Evaporativa Extendida (EXPLICACIÓN SIMPLE)

Imagina que el universo es un libro de misterios gigante. Y en este libro, hay dos capítulos que no entendemos:

- **Misterio nº 1: La Energía Oscura.** El universo se está expandiendo, como un globo que se infla. Pero no solo se infla, ¡cada vez lo hace **más rápido**! Es como si algo invisible estuviera empujando todo desde dentro. A ese "algo" lo llamamos energía oscura, pero no tenemos ni idea de qué es.
- **Misterio nº 2: La Materia Oscura.** Las galaxias, como nuestra Vía Láctea, giran a toda velocidad. Si solo contáramos las estrellas y planetas que vemos, la fuerza de gravedad no sería suficiente para mantenerlas unidas. Se desharían como un malabares con demasiadas bolas. Así que creemos que debe haber una "materia invisible", una especie de pegamento cósmico que lo mantiene todo unido. A eso lo llamamos materia oscura.

Durante años, los científicos han tratado estos dos misterios como si fueran problemas separados. Pero, ¿y si estuvieran conectados? ¿Y si la solución a uno de ellos es la causa del otro?

Aquí es donde entra mi nueva teoría.

La Gran Idea: "Fantasmas" que se Desvanecen

Nuestra teoría propone que la energía oscura no es una fuerza misteriosa, sino el **último suspiro de los objetos más extraños del cosmos: agujeros negros diminutos y antiquísimos**.

Piensa en ello así:

1. **Los "Culpables": Agujeros Negros Primordiales.** No hablamos de los agujeros negros gigantes que se forman cuando una estrella muere. Hablamos de agujeros negros diminutos, del tamaño de un átomo o una montaña, que se formaron justo después del Big Bang, cuando el universo era un lugar muy denso y caótico. Son como los "fósiles" del nacimiento del universo.
2. **El Mecanismo: "Evaporación" o "Desvanecimiento".** El gran físico Stephen Hawking descubrió que los agujeros negros no son eternos. Muy, muy lentamente, se "evaporan" o "desvanecen", liberando energía al espacio, como un cubito de hielo que se derrite.
3. **La Solución al Misterio nº 1:** Mi teoría dice que toda esa energía liberada por estos agujeros negros diminutos, acumulada durante 13.800 millones de años, es lo que está empujando el universo y acelerando su expansión. **La energía oscura es el eco de la muerte de los primeros agujeros negros.**

¿Por Qué Ahora? El Problema de la "Coincidencia" Resuelto

Esto es lo más elegante. ¿Por qué la energía oscura domina justo *ahora*?

Porque estos agujeros negros primordiales fueron "diseñados" para durar justo lo que el universo tiene de edad. Como una bomba de tiempo programada para explotar ahora. Durante miles de millones de años, su energía era poca cosa, pero ahora que están en su fase final de "desvanecimiento", liberan mucha energía, y es por eso que la notamos.

Los Nuevos Giros del Argumento (La "Versión Extendida")

Aquí es donde nuestra historia se pone aún más interesante y resuelve más cosas:

- **1. No todos los agujeros negros son iguales.** En lugar de un solo tipo, hay toda una **población** de diferentes tamaños. Imagina una bolsa de palomitas de maíz: algunos granos son más grandes y explotan antes, otros son más pequeños y explotan después. Esto hace que la liberación de energía sea más gradual y realista.
- **2. La "Energía Fantasma".** La energía que liberan estos agujeros negros no es normal. Una parte se convierte en una **"energía invisible" o "partículas fantasmas"**. Y estas partículas fantasmas interactúan con la "materia invisible" (la materia oscura que ya conocíamos). Esto podría explicar por qué las galaxias enanas se forman de una manera un poco rara, algo que los científicos han observado, pero no entendían.
- **3. El "Origen" Conectado con el "Principio".** Estos agujeros negros no surgieron de la nada. Se formaron durante una época llamada la "Inflación", un momento en que el universo creció exponencialmente. Así que nuestra teoría conecta el misterio de la energía oscura de hoy con el evento más fundamental del principio de los tiempos.

La Prueba Definitiva: ¿Cómo Sabemos si es Cierto?

Una buena teoría debe hacer predicciones que podamos comprobar. La nuestra hace dos predicciones que están conectadas:

1. **Deberíamos escuchar un "Silencio Cósmico".** La formación violenta de todos estos agujeros negros al principio del universo debería haber creado **ondas en el tejido del espacio**, como las ondas que deja una piedra al caer a un lago. Debería haber un "fondo" de ondas gravitacionales muy débiles que, si lo encontramos, sería la prueba del origen de nuestros agujeros negros.
2. **Deberíamos ver "Galaxias Extrañas".** Las "partículas fantasmas" que mencionamos cambiarían la forma en que la materia oscura se agrupa. Esto debería afectar a cómo se forman las galaxias más pequeñas, haciendo que sus centros sean menos densos de lo que esperaríamos.

La clave es que estas dos cosas deben estar conectadas. Si encontramos el "silencio cósmico" de ondas gravitacionales, esto nos dirá cuántos agujeros negros había. Y esa cantidad debe coincidir exactamente con la "rareza" que vemos en las galaxias enanas.

En Resumen

Mi teoría cuenta una historia completa y unificada:

El universo se acelera debido a la energía liberada por agujeros negros primordiales que se están desvaneciendo. Una parte de esa energía se convierte en "partículas fantasmas" que afectan a cómo se forman las galaxias. Todo esto comenzó en el Big Bang, y podemos probarlo buscando un eco de ondas gravitacionales y galaxias con formas extrañas.

Conecta el principio del universo con su futuro, resuelve dos de los mayores misterios de la cosmología y, lo más importante, nos dice exactamente dónde buscar para saber si tenemos razón.